

COLEGIO OFICIAL DE QUIMICOS - ANQUE  
CONSEJO SUPERIOR DE COLEGIOS DE INGENIEROS DE MINAS  
COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS

**CEDEX**[illegible]

**8 al 13 de Septiembre de 1991**

## SORIA

MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACION DE CLINKER DE CEMENTO  
PORTLAND EN EL AREA DE MADRID

M. A. Garcia Calleja(1); J.Soriano Carrillo(2) y S.Ordóñez Delgado(3)

(1) Laboratorio Central Estructuras y Materiales. (CEDEX-MOPT). Alfonso XII, 3, 28014-Madrid.

(2) Productos Bituminosos, S.A.(PROBISA). Ronda,9, 28320-Pinto (Madrid).

(3) Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Geología. UCM. 28040-Madrid.

**RESUMEN**

En Madrid y su area de influencia se ha incrementado la demanda de materiales de construcción, como consecuencia del espectacular desarrollo de las obras de infraestructura y de la edificación. Los problemas derivados del impacto ambiental y la futura expansión y/o renovación de las plantas de fabricación de cemento portland, aconsejan una investigación en el area, de las materias primas para la fabricación de clinker. Los materiales aflorantes en la cuenca Terciaria sobre la que se asienta Madrid, han sido divididos en tres unidades estratigráficas, con importantes diferencias litológicas. La Unidad Superior, presenta un volumen de mas de 1500 Mt de calizas de buena calidad para ser usadas como componente principal. La Unidad Inferior o Salina, esta formada localmente por sedimentos lutítico-arcillosos, que pueden ser usados en función de su naturaleza mineralógica y química, como un buen componente secundario. Estos materiales constituyen la materia prima para la fabricación de cerámica basta, por lo que en algunas zonas ambos tipos de uso deben de coexistir. Los yesos detríticos y primarios de la Unidad Intermedia, pueden ser usados como componente regulador de fraguado. Los modelos de dosificación elaborados muestran que no es necesaria la adición de un tercer componente al crudo del portland, para obtener una composición química adecuada.

**ABSTRACT**

Building raw materials demand in Madrid city and its influence areas has clearly increased in the last years as a consequence of public works and building development. Enviromental claims and future expansion and/or renovation of cement Portland processing plants advises cement raw materials investigation. The outcropping sedimentary materials of Tertiary basin which are located Madrid has been divided into three main stratigraphic units. In the Upper Unit has been identified more than 1500 Mt of limestone ready to use as principal component to manufacture clinker. The muddy-clayed sediments of Lower or Saline Unit, used also as brickmaking raw materials, may be envisaged as a fit secondary component of clinker raw materials. The detrital and primary gypsum of Middle Unit may be used as a setting time of cement.



Mix proportioning models of two components let us point out that is not necessary the addition of other third components to obtain a fit chemical composition of untreated clinker raw materials.

## 1. Introducción.

Una ciudad como Madrid y su área de influencia, en la que, en los últimos años se ha producido un espectacular desarrollo de la edificación y de las obras de infraestructura, la convierte en un "pozo" de consumo de las materias primas naturales utilizadas en la obra pública.

La Cuenca Neógena de Madrid, donde se asienta una comunidad de casi cinco millones de habitantes con inversiones relativas en infraestructura de transporte y urbanismo mayores que las de cualquier área geográfica de España, tiene una gran demanda de materias primas para la obra pública.

Los materiales que constituyen el relleno, así como los aluviales que ocupan los valles de los ríos que surcan esta Cuenca (Jarama, Tajuña, Manzanares, Tajo, etc.) constituyen la principal fuente de aprovisionamiento de estas materias primas para la obra pública.

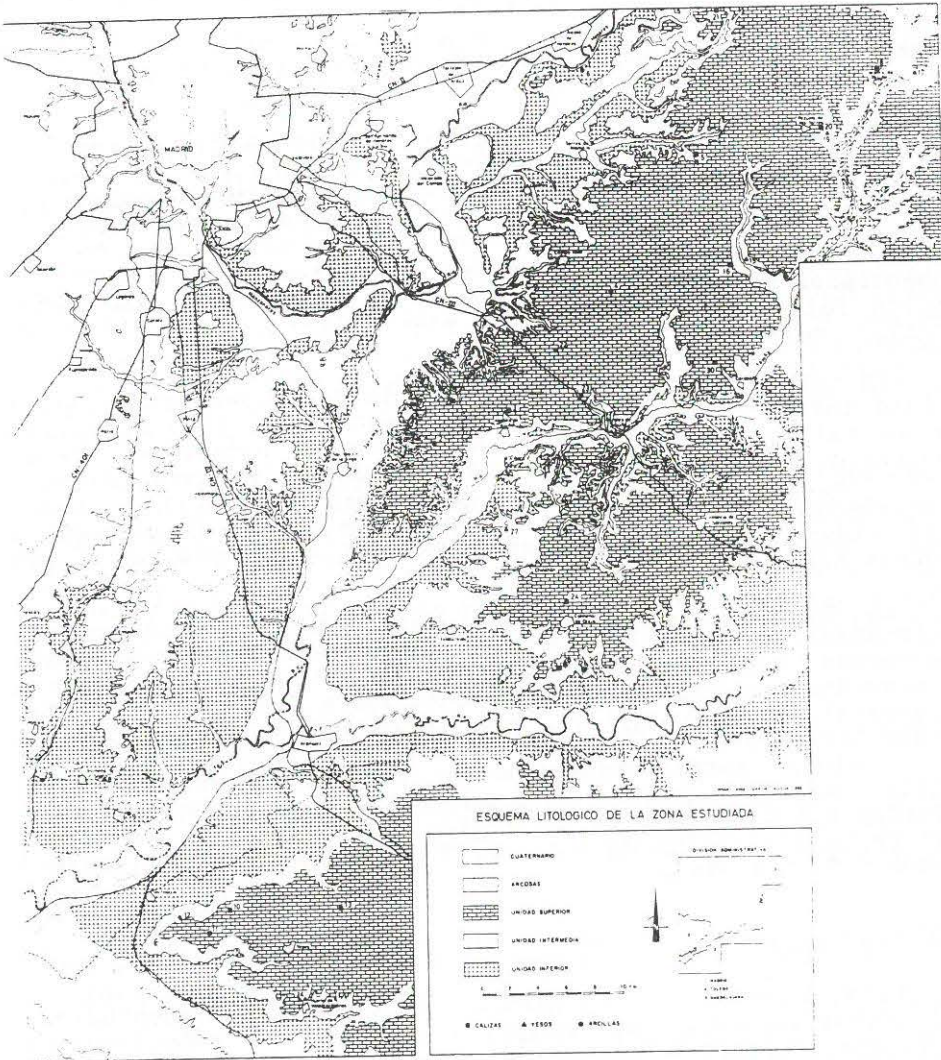
Los estudios de Menduñá J. (1988) sobre las materias primas de materiales cerámicos de la Cuenca de Madrid, así como los numerosos estudios sobre los áridos del río Jarama (Agencia del Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid, 1990), hacen que se deba focalizar fundamentalmente la presente investigación, sobre las materias primas (caliza, arcilla y yeso) para la fabricación del clinker del cemento portland como producto industrial para la obra pública.

La geología sobre la que se ubica Madrid y su área de influencia, permite la prospección y explotación de las materias primas necesarias en la industria cementera. Así, las calizas o componente principal del crudo del clinker del cemento portland, aparecen suficientemente representadas en la Unidad Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid.

En la Unidad Inferior se encuentran arcillas, que pueden usarse como componente secundario del clinker, mientras que el regulador de fraguado (yeso), aparece fundamentalmente en la Unidad Intermedia.

Los materiales anteriormente citados aparecen en suficiente cantidad como para cumplir los requisitos de abastecimiento de varias plantas productoras de cemento.

Por otra parte, Madrid, principal centro de consumo, se encuentra situado en el interior de un círculo de 150 Km. de radio, considerado como máxima distancia de transporte del cemento desde la unidad de producción.





## 2. Marco geológico.

La cuenca de Madrid constituye, junto con la del Duero y Ebro, una de las tres grandes cuencas terciarias continentales interiores de la Península Ibérica.

La sucesión terciaria que constituye el relleno de la Cuenca de Madrid presenta un espesor máximo próximo a los 3.500 m. La división de unidades propuesta ha sido discutida por diversos autores (Alberdi et al., 1983; Antunes et al., 1987) y está basada en el análisis tectosedimentario del registro mioceno de la cuenca (Megías et al., 1983).

La Unidad Inferior del Mioceno o Unidad Salina (García del Cura, 1979) está compuesta predominantemente por niveles de anhidrita, halita, arcillas y carbonatos (magnesita-dolomita), así como por depósitos de sulfatos sódicos con importancia económica. Hacia el E de la cuenca estas facies pasan a lutitas groseramente laminadas con lechos nodulares de anhidrita que desaparecen rápidamente hacia las áreas marginales. Sobre estas facies lutíticas se ubican las explotaciones industriales de arcillas cerámicas.

La Unidad Intermedia presenta notables diferencias con la unidad infrayacente, siendo la más destacable, la ausencia de facies salinas similares a las anteriormente señaladas. Por el contrario, la asociación de facies lacustres en esta unidad, está dominada por carbonatos (calcita, dolomita) y yeso, conservándose, no obstante, la ordenación de facies, con orlas bien desarrolladas de facies aluviales progresivamente más gruesas hacia los bordes de la cuenca.

La Unidad Superior, esta constituida por una sucesión estratigráfica compleja, a veces mal representada y parcialmente erosionada, con espesores menores de 50 m y cuya escasa continuidad hace que las observaciones sobre la misma hayan sido, en general, de baja calidad, confundiendo con el techo de la Unidad Intermedia, o bien, con niveles de encostramiento de más alta posición estratigráfica en el conjunto de la Cuenca de Madrid. En esta unidad se pueden distinguir unos depósitos inferiores y/o marginales de facies detríticas con desarrollo preferente a lo largo de los interfluvios de los ríos Henares-Tajuña y Tajuña -Tajo.

## 3. Metodología

Para la localización y elección de las canteras a estudiar, se procedió en una primera etapa, a la visión por foto aérea de la Cuenca de Madrid, así como de la cartografía a escalas 1:200.000, 1:100.000 y 1:50.000 de los mapas geológicos y topográficos disponibles.

Se eligieron un total de 30 canteras distribuidas a lo largo de la cuenca, de las que 19 fueron de calizas, 7 de yesos y 4 de arcillas. La toma de muestras consistió en la extracción por término medio, de 1 a 2 Kg de material, empezando en la base de la plataforma de explotación y tomando, cada dos metros en la

vertical , sucesivas muestras.

Antes de proceder a su pesada para el análisis, se han desecado las muestras a 105°C, hasta masa constante. Este mismo polvo se ha utilizado en los estudios difractométricos. En la valoración cuantitativa de los elementos estudiados se han utilizado las técnicas tradicionales del análisis por vía húmeda, incluyendo la espectrofotometría de absorción atómica de llama (Perkin-Elmer, modelo 3030).

La disolución de las muestras molidas se ha llevado a cabo de formas diferentes, según los elementos a determinar y las técnicas a utilizar.

Para la determinación del dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de magnesio, óxido de calcio y trióxido de azufre, se ha procedido a efectuar una fusión mediante carbonato sódico-potásico, en crisol de platino.

Los metales alcalinos, sodio y potasio, se han determinado en muestras disgregadas y disueltas mediante el ataque energético con ácidos clorhídrico y fluorhídrico, en microrreactores de teflón sometidas a una presión de aproximadamente 2,5 atmósferas, lo que corresponde a una temperatura de 130°C. El ataque así logrado es perfecto y la disolución de la muestra total, evitándose cualquier tipo de contaminación.

Previos desagregación y secado a temperatura ambiente, la muestra se ha molido hasta un tamaño inferior a 2 mm, separándose, mediante cuarteos sucesivos, dos partes: a) Una primera para análisis mineralógico de la muestra total, para lo cual fue molido y tamizada hasta un tamaño inferior a 0,063 mm (tamiz 102 UNE 7050). b) La segunda destinada a la extracción de la fracción arcilla para su posterior caracterización mineralógica.

#### 4. Caracterización de las materias primas para la fabricación de cemento portland.

Se define a la materia prima para la obtención del clínker de cemento portland, como aquella sustancia mineral (natural o artificial) que aporta, al menos, uno de los componentes químicos mayoritarios del crudo.

Pese a que el crudo tiene la composición analítica media de una manga, en la práctica resulta casi imposible obtener un crudo a partir de una sola materia prima, ya que, difícilmente, ésta puede responder a todas las limitaciones cualitativas impuestas, y, en especial, a las de los componentes minoritarios, por lo que es necesario acudir a la mezcla de varias materias primas. El componente calcáreo procede de las rocas carbonáticas con una riqueza en carbonatos superior al 80%.

Este componente es la materia prima fundamental (75-90% del total del crudo) de forma que su quimismo condiciona y delimita la viabilidad del resto de las materias primas secundarias, de ahí que los yacimientos del componente calcáreo sean los que



precisan un mejor conocimiento geológico.

Existe la falsa creencia de que un yacimiento de rocas carbonáticas es tanto más idóneo para la fabricación del clínker, cuanto más elevado sea su contenido en carbonatos. La calidad idónea del componente calcáreo es aquella que siendo regular a lo largo de su explotación, está próxima a la composición química del crudo, de forma que con pequeños aportes de materiales correctores se logre la calidad deseada en el crudo.

En la práctica, no existen unos parámetros fijos que delimiten la viabilidad físico-química de un componente calcáreo, pues en su definición, intervienen otros factores ajenos a la propia naturaleza del yacimiento como son: distancia a la planta, calidad de los correctores disponibles, tipo y limitaciones del proceso de fabricación, calidad de los combustibles a emplear, tipo de cemento a fabricar, rentabilidad de la planta, etc.

Los correctores o componentes secundarios son sustancias naturales o industriales que entran a formar parte del crudo en proporciones sensiblemente inferiores al componente calcáreo y que aportan los componentes químicos adicionales necesarios para obtener la calidad adecuada del crudo.

Los correctores más frecuentes son: arenas, cenizas de pirita, minerales de hierro, caolines, bauxitas, arcillas, pizarras, esquistos, lutitas, cenizas de carbón, escorias de horno alto y cenizas volantes. De todos los correctores, los más importantes y generalizados son las arcillas, que representan la segunda materia prima en importancia en la confección del crudo, oscilando entre el 10 y 21-25%.

Los crudos del clínker de cemento portland, son mezclas de diferentes tipos de materias primas cuyas relaciones se establecen en base a unos módulos que definen la composición química de la mezcla.

Existen muchas fórmulas para determinar o definir los módulos de un cemento portland, siendo las más utilizadas las siguientes, módulo hidráulico, establecido por Michaelis (1909), módulo silícico, debido a Kühl (1951), módulo de fundentes o módulo aluminico-férrico, también establecido por Kühl (1951, op. cit.), grado de saturación en cal, establecido por Lea y Parker (1935); el grado de saturación de cal, representa la cal necesaria para que se saturen el resto de los componentes químicos del crudo y se formen los minerales del clínker, bajo condiciones normales de cocción y enfriamiento.

El problema de la dosificación de un crudo para cemento portland se plantea siempre en forma de ecuaciones en cuyo cálculo intervienen como datos los de la composición de las materias primas principales y secundarias de que se disponen. Es muy raro el caso en que la composición de una sola materia prima es tal, que, una vez calcinada, el producto resultante responda a la composición del clínker, así pues, queda descartada prácticamente la posibilidad de disponer de crudos que pudieran llamarse unitarios por estar constituidos por un solo material.

En general, la fabricación del clínker requiere, según las circunstancias, crudos binarios, obtenidos por la debida dosificación y mezcla de dos materiales crudos ternarios, formados por tres materias primas, o crudos cuaternarios, obtenidos a partir de cuatro materiales. En general, son muy poco frecuentes los casos en los que es preciso recurrir a un mayor número de materiales, pudiendo decirse que incluso las dosificaciones cuaternarias se salen de lo corriente.

En el planteamiento de las ecuaciones de dosificación, se cuenta siempre con una ecuación que expresa que la suma de los tantos por ciento de las materias primas que intervienen es igual a cien. Por tanto, para que el sistema sea determinado, es necesario disponer, además de la ecuación anterior, de tantas otras ecuaciones como materias primas menos una se utilicen. Cada una de estas nuevas ecuaciones expresa una condición del crudo y por tanto de la dosificación.

Para la dosificación de crudos se ha utilizado un programa en el que se fijan los valores del grado de saturación de cal, del módulo de silicatos y del módulo de fundentes en 95, 2,5 y 2 respectivamente, en función del número de componentes utilizados.

Los análisis químicos del mineral de hierro (goethitas del Campo de Calatrava en Ciudad Real), y las arenas de rechazo de las graveras del Río Jarama, se observan en la tabla .

#### 5. Datos del componente principal.

Nos referiremos en primer lugar al quimismo de las calizas estudiadas. De la observación de la tabla A de análisis químicos medios de los materiales utilizados en la dosificación de crudos, se deduce que el contenido en sílice es inferior al habitualmente exigido para el componente calcáreo (13%). El contenido en óxido de calcio es por otra parte, algo superior al normalmente utilizado (45%). Los bajos coeficientes de variación de este componente, reflejan una gran homogeneidad del componente principal, lo que le convierte en una materia prima ideal, tanto para la fabricación de clínker, como para otros usos; cales, cargas, etc.

Hay que indicar que los límites anteriormente señalados se refieren al producto ya explotado (todo uno) disponible en la planta, si bien, como habíamos indicado, estos parámetros pueden fluctuar en el yacimiento entre límites mucho más amplios.

Igualmente, el óxido de hierro III y la alúmina, presentan unos parámetros químicos con valores inferiores a los habitualmente utilizados (3%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y 6%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

El contenido entre trióxido de azufre, cloruros y alcalinos, se encuentra muy por debajo de los valores máximos normalmente utilizados (0,7%  $\text{SO}_3$ ; 0,1%  $\text{Cl}^-$  y 1%  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ), circunstancia muy favorable para la fabricación del clínker, habida cuenta del peligro que puede entrañar para el cemento portland un excesivo contenido en estos componentes.



# ANALISIS QUIMICOS MEDIOS DE LOS MATERIALES ESTUDIADOS

CANTERA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl-	P.p.c
C-1	2.46	0.65	0.29	53.40	0.58	0.09	0.02	0.03	-	42.30
C-2	7.30	1.40	0.75	49.20	0.96	0.16	0.04	0.02	0.01	40.20
C-3	0.16	0.08	0.09	55.50	0.22	0.08	0.02	0.01	-	43.80
C-4	0.92	0.26	0.36	54.70	0.42	0.07	0.02	0.01	0.01	43.50
C-5	0.52	0.08	0.20	54.70	0.37	0.03	0.01	0.01	0.01	44.10
C-10	6.85	1.27	0.63	50.10	0.66	0.20	0.05	0.02	0.02	40.21
C-11	7.43	1.86	0.84	48.97	1.03	0.30	0.03	0.03	0.13	39.40
C-13	5.17	1.28	0.62	51.30	0.76	0.09	0.10	0.18	0.02	40.50
C-16	0.61	0.09	0.13	55.06	0.41	0.11	0.03	0.04	0.03	43.82
C-18	0.75	0.83	0.17	54.76	0.34	0.04	0.02	0.02	0.03	43.04
C-20	1.86	0.41	0.16	54.12	0.30	0.04	0.03	0.03	0.03	43.02
C-21	4.22	1.35	0.43	51.77	0.45	0.03	0.03	0.01	0.03	41.68
C-22	0.44	0.30	0.17	54.60	0.41	0.08	0.01	0.02	0.01	44.00
C-23	1.22	1.20	0.44	53.70	0.33	0.08	0.03	0.01	0.01	43.00
C-24	0.49	0.49	0.17	55.10	0.32	0.07	0.02	0.02	0.05	43.30
C-25	2.36	0.88	0.25	53.70	0.56	0.09	0.03	0.02	0.05	42.10
C-26	3.10	1.01	0.36	52.60	0.60	0.18	0.04	0.02	0.03	42.10
C-28	9.30	2.71	0.68	47.80	0.54	0.07	0.32	0.30	0.02	32.30
C-30	1.01	0.06	0.04	55.20	0.16	0.09	0.01	0.01	0.08	43.34
A-6	54.80	17.49	6.35	0.58	5.97	0.90	3.90	0.91	-	9.10
A-7	56.38	17.89	6.26	0.92	4.38	1.04	3.83	1.07	-	8.24
A-9	50.90	18.80	6.10	0.48	6.00	0.96	3.90	1.76	-	11.10
A-29	50.98	18.56	6.73	2.59	5.10	0.94	3.87	0.95	-	10.28
ARENA	90.52	5.44	-	0.10	-	-	3.46	0.18	-	0.30
MIN.Fe	9.8	3.89	70.5	2.60	2.4	0.62	0.31	0.31	-	9.00

CANTERA	SiO <sub>2</sub> + R.I.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Cl-	HUM. 45°C
Y-8	2.21	0.30	32.00	1.87	41.46	0.03	0.04	3.14	0.10	0.09
Y-12	8.57	1.34	27.05	2.46	37.61	0.03	0.05	1.90	0.07	0.65
Y-14	2.84	0.41	31.10	1.64	40.54	0.13	0.12	2.68	0.09	0.38
Y-15	4.24	0.57	30.22	4.02	36.04	0.08	0.05	8.45	0.11	0.32
Y-17	1.72	0.34	30.84	1.18	42.36	0.02	0.03	3.54	0.11	0.10
Y-19	3.76	0.33	30.42	2.84	39.10	0.05	0.02	5.06	0.11	0.25
Y-27	4.20	0.39	27.06	0.63	40.23	0.02	0.02	3.99	0.12	0.06

De acuerdo con lo anterior, resulta evidente que para la obtención de un clinker adecuado, es necesario el empleo de correctores que aporten los elementos deficitarios en las calizas estudiadas, razón por la cual, y como ya se ha indicado, se han empleado las arenas de rechazo de las graveras del río Jarama.

En consecuencia, todas las muestras estudiadas y debido a la práctica ausencia de terrígenos siliciclásticos, hay que señalar que las calizas no van a presentar, en principio ningún tipo de problema para su trituración y machaqueo en las plantas habitualmente utilizadas en la preparación de materias primas para cementos.

No obstante, y debido al carácter marcadamente micrítico de las muestras, podrían producirse ocasionalmente, problemas de embozamiento en algunas unidades de la planta de machaqueo.

Por otra parte, y refiriéndonos a las posibles reservas del componente calcáreo en la zona de estudio, hay que señalar que son aproximadamente de mil quinientos millones de toneladas, que podríamos considerar prácticamente ilimitadas a efectos de la producción de cemento. Sin embargo, los usos alternativos de estas calizas: áridos de machaqueo, cales, cargas, etc. hacen que este carácter de ilimitadas, pueda ser puesto en cuestión.

Todas las canteras presentan un pequeño recubrimiento, siendo en todos los casos, la relación R/E (R=Recubrimiento, E=Espesor) inferior a 0,20 m., que es el valor máximo habitualmente utilizado en la explotación de una cantera de calizas para la industria cementera, e incluso el recubrimiento, en muchos casos podría ser, previo estudio, usado sin ningún problema en la dosificación del crudo.

Finalmente, hay que indicar que la gran mayoría de las canteras estudiadas están situadas, tal y como puede observarse en el esquema litológico que acompaña a esta Memoria, en las proximidades de vías de comunicación, lo que facilita su explotación.

En resumen, y de acuerdo con todo lo anterior, puede decirse que las calizas que corresponden a la Unidad Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid, presentan una calidad muy aceptable para su utilización en la fabricación del clinker del cemento portland, presentando una distribución espacial en la zona de estudio, que facilita su explotación para los fines anteriormente citados.

## 6. Datos del componente secundario

Al igual que en el apartado anterior, nos referiremos al quimismo de las arcillas estudiadas.

De la observación de la tabla B de análisis químicos medios de los materiales utilizados en dosificación de crudos, se observa un mayor contenido en alúmina y óxido de hierro III, que los habitualmente utilizados en la planta de explotación (9%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).



El contenido en sílice, es igualmente algo superior al utilizado normalmente (50%  $\text{SiO}_2$ ), el resto de los componentes se encuentran dentro de los límites habituales para el componente secundario, teniendo que señalar la ausencia total de cloruros y el bajo contenido en trióxido de azufre, circunstancia claramente favorable para la fabricación del clinker del cemento portland.

Con respecto a la mineralogía del componente secundario, hay que señalar que no aparece ningún mineral indeseable para la fabricación del clinker del cemento portland.

Por otra parte, la presencia de ilitas (más del 50% de la mineralogía total de la muestra), va a permitir el empleo de estas arcillas para la fabricación de cementos especiales, así como de elementos cerámicos de calidad, lo que indudablemente aumenta el valor añadido de los yacimientos estudiados.

Igual que en el caso del componente principal, todos los yacimientos de arcillas estudiados son de fácil explotación y se encuentran situados en las proximidades de vías de comunicación (ver esquema litológico adjunto).

El volumen de arcillas explotables es de aproximadamente quinientos millones de toneladas, si bien hay que señalar que no son de total disponibilidad para la fabricación de clinker, por ser a su vez, las únicas utilizables en la fabricación de productos cerámicos en el área de influencia de Madrid.

No obstante, y teniendo en cuenta que el componente secundario representa aproximadamente el 20% del clinker, puede asegurarse que no existe dificultad para la explotación conjunta de dichos materiales para las industrias cerámica y del cemento.

En resumen, y de acuerdo con lo anterior, puede asegurarse que las arcillas de la Unidad Inferior del Mioceno de la Cuenca de Madrid, pueden emplearse en la fabricación del clinker del cemento portland.

#### 7. Datos del regulador de fraguado.

Dado que la limitación que habitualmente se impone para el uso del yeso como regulador de fraguado se refiere al contenido en anhídrita, nos referiremos, en primer lugar, a las características petrográficas de los yesos estudiados.

Todos los yesos estudiados con excepción de la cantera nº 27 se sitúan en la Unidad Intermedia del Mioceno de la Cuenca de Madrid, siendo en su mayoría, yesos detrítico lenticulares, con laminaciones y criptobandeado, apareciendo pequeñas cantidades de calcita, dolomita y minerales de la arcilla.

La cantera Nº27 (Chinchón), situada entre la base de la Unidad Intermedia y la Unidad Inferior es la única en la que se ha observado la presencia de inclusiones de anhídrita en los cristales de yeso, aunque en un porcentaje tan pequeño (0,5%) que no impide su utilización como regulador de fraguado.

Teniendo en cuenta que el regulador de fraguado representa un 5% del cemento portland, y que por tanto, puede ser transportado desde varios cientos de kilómetros a la unidad de producción, resulta evidente que el volumen de yesos presentes en la zona de estudio, es más que suficiente para la fabricación del cemento portland.

Por otra parte, y aunque se aleje de los objetivos de este trabajo, hemos de señalar que el quimismo de la mayoría de los materiales evaporíticos estudiados, les hace susceptibles de ser utilizados en la fabricación de yeso industrial, si bien el contenido en alcalis de la cantera N°14 (Huerta de Valdecarábanos) está en el límite normalmente aceptado (1,2%).

Las canteras N°15 (Villar del Olmo) y N°19 (Pezuela de las Torres) tienen un contenido en magnesia ligeramente superior al límite habitualmente aceptado (2%).

#### 8. Dosificación de crudos.

Como ya hemos indicado, la dosificación de crudos se ha realizado, teniendo en cuenta la distribución de las vías de comunicación y estableciendo tres zonas.

De la observación de los análisis del clinker teórico y de los diferentes módulos, se deduce que la mezcla de las calizas de la Unidad Superior y las arcillas de la Inferior del Mioceno de la Cuenca de Madrid, pueden ser utilizadas en la dosificación de crudos de cemento portland.

En efecto, los valores de los componentes mayoritarios se encuentran muy próximos a los de los valores teóricos (22% SiO<sub>2</sub>, 66% CaO, 6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 2% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Por otra parte, el contenido en alcalis y el valor de los módulos, está también dentro de los límites aceptables (Na<sub>2</sub>O equivalente 0,66%, G.S.P.=95, 1,7≤M.H.≤2,3 y 1,2≤M.S.≤4,0). Aunque mezclando únicamente la caliza y la arcilla podría obtenerse el clinker, la adición de las arenas de rechazo de las graveras del río Jarama así como del mineral de hierro del Campo de Calatrava, permiten obtener unos clinkers de alta calidad y de una fabricación más sencilla, habida cuenta de que se facilitan dichos procesos (Comunicación personal A. de Benito).

Finalmente hay que señalar que el empleo de las arenas de rechazo puede colaborar a resolver el importante problema medio ambiental, que representa la acumulación de estos materiales que en la actualidad se consideran como estériles.

Como resumen de la discusión de los resultados realizada en este apartado y teniendo en cuenta que para una capacidad de producción de 100.000 t/año es necesario 130.000 t. de componente calcáreo y 30.000 t. del corrector, y que las reservas para una factoría de cemento con una capacidad de producción de 100.000 t/año, se estiman en 6.500.000 t. de componente calcáreo y 1.500.000 t. del componente secundario, se deduce que existen suficientes reservas de las calizas y las arcillas presentes en



los materiales miocenos de la Cuenca de Madrid.

Por otra parte y refiriéndonos a las vías de comunicación y distancia de distribución del cemento, hay que señalar que sería factible situar dentro del área en estudio algunas unidades de producción, ya que en ningún caso, la distribución del cemento se efectuaría con un radio superior a los 250 Km., distribuyéndose la mitad de la producción en un radio inferior a los 100 Km.

Finalmente, y de acuerdo con el crecimiento estimado para los próximos 40 años, en los que el consumo de calizas serían de unos 915 millones de toneladas y 165 millones de toneladas de arcillas, no se presentaría ningún problema en relación a las reservas de materiales de la zona en estudio.

## 9. Conclusiones

De los reconocimientos de campo, los datos de laboratorio y los estudios realizados, se deducen las siguientes conclusiones:

1.- En la Unidad Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid, existe un importante volumen de calizas (1.500.000.000 t.) cuyas características, permiten considerarlas de calidad aceptable como componente principal del crudo del clinker de cemento portland. Este carácter se refiere tanto a sus características químicas como mineralógicas y petrográficas. Si bien debe señalarse que son de prever problemas de rendimientos relativamente bajos en la molienda, debido en su caso, al carácter micrítico de muchos de estos materiales.

2.- En la Unidad Inferior o Salina de la Cuenca de Madrid, están representados depósitos lutítico-arcillosos de naturaleza fundamentalmente ilítica-caolinítica, que pueden utilizarse como componente secundario del crudo del clinker del cemento portland. El contenido en álcalis los hace adecuados para este uso.

Por otra parte no deben esperarse problemas especiales en cuanto a la molienda, como consecuencia de su naturaleza mineralógica. Las zonas explotables se encuentran ubicadas en la zona de Alcalá de Henares y de la Sagra. Este hecho y que estas lutitas arcillosas se usen también para la fabricación de materiales cerámicos, conlleva que quizá sea éste el componente que pueda plantear más problemas respecto al suministro, sobre todo en la zona más próxima a Alcalá de Henares.

La mineralogía de las arcillas y otros minerales presentes, sugieren la posibilidad de una optimización del material para usos en cementos especiales que tienen un factor limitante en álcalis más elevado.

3.- En la Unidad Intermedia de la Cuenca de Madrid, existen yesos primarios y yesos detríticos o secundarios, con proporciones variables de carbonatos, y en general con un bajo contenido en álcalis, que les convierte en un material utilizable como componente regulador de fraguado. Los yesos secundarios procedentes de la yesificación de la Unidad Inferior, presentan como principal problema para el uso al que se destinan, la alta

y errática proporción de anhídrita, así como la común presencia de sales solubles ( $\text{SO}_4\text{Na}_2$ ,  $(\text{SO}_4)_2\text{NaCa}$ , ...) que pueden modificar el comportamiento del cemento fabricado con estos aditivos.

4.- Los modelos de dosificación de crudos y de los clinkers resultantes, permiten asegurar que con los materiales naturales anteriormente señalados (Calizas de la Unidad Superior, arcillas de la Unidad Salina o Inferior (zonas de Alcalá de Henares y La Sagra) y yesos de la Unidad Intermedia), se pueden fabricar cementos portland en calidad y cantidad de acuerdo con lo que se considera aceptable por la normativa para la fabricación de cementos portland. Y todo ello, sin necesidad de recurrir a la adición de componentes (mineral de hierro, arenas silíceas, etc) que usualmente se añaden como correctores del crudo.

5.- Tanto los datos de dosificación como la extensión a escala regional de las características mineralógicas y petrológicas de los materiales, la red de comunicaciones y la deseable minimización del impacto ambiental de las posibles explotaciones, permiten señalar tres zonas para la posible ubicación de unidades de producción de cemento:

a) Campo Real-Orusco.

Esta zona se encuentra situada sobre las calizas de la Unidad Superior, presentando una buena red de comunicaciones con los principales centros de consumo (Madrid, Alcalá de Henares, Arganda, etc..). La explotación de las calizas, podría realizarse a pie de fábrica, mientras que la zona de Alcalá de Henares abastecería de arcillas y Pezuela de las Torres de yesos. Dado que la factoría se situaría en el páramo, el impacto ambiental no sería excesivo.

b) Arganda-Morata de Tajuña.

Al igual que la zona anterior, se encuentra situada sobre el páramo, por lo que no existirían problemas medio ambientales de importancia. El suministro de calizas quedaría asegurado con canteras situadas junto a la factoría. Las arcillas de Alcalá de Henares podrían utilizarse sin ninguna dificultad, habida cuenta de la distancia (25 Km.) y de la fácil comunicación viaria. El regulador de fraguado utilizado podría proceder de las inmediaciones de Chinchón.

c) Yepes-Ciruelos.

Se encuentra ubicada esta zona en la mesa de Ocaña, quedando igualmente soslayados los posibles problemas medio ambientales por fácil renovación atmosférica. El volumen de calizas de la zona, aseguraría el suministro de dicha materia prima, y en la comarca de La Sagra, se encuentran tanto las arcillas, como el yeso necesarios.

La existencia de una buena red de comunicaciones (carreteras y ferrocarril) en el área estudiada, permitiría, si fuese necesario, el transporte de las arenas de rechazo de las graveras del río Jarama, sin que dicho transporte resultase oneroso.



## Bibliografía.

Alberdi, M.T.; Hoyos, M.; Junco, F.; López Martínez, N.; Morales, J.; Sese, C.; Soria, D. (1983). Bioestratigraphie et evolution sedimentaire de l'aire de Madrid. Abstract Inter. Coll. on Mediterranean Neogene Continental Paleoclimatic Evolution. Montpellier, 18 - 23.

Antunes, M.T.; Calvo, J.P.; Hoyos, M.; Morales S.; Ordóñez, S.; Pais, J.; Sese, C. (1987). Ensayo de correlación entre el Neógeno de las áreas de Madrid y Lisboa (Cuencas Alta y Baja del río Tajo). COMUN. SERV. GEOL. PORTUGAL, 73, 85 - 102.

García del Cura, M.A. (1979). Las sales sódicas y magnésicas de la cuenca del Tajo. Serie Universitaria, Fundación Juan March., nº 109, 39 pp.

García del Cura, M.A., Ordóñez, S y López Aguayo, F. (1979). Estudio petrológico de la Unidad Salina de la cuenca del Tajo. Est. Geol., 35, 325 - 339.

Megias, A.G.; Ordóñez, S.; Calvo, J.P. (1983). Nuevas aportaciones al conocimiento geológico de la Cuenca de Madrid. Rev. Mat. Proc. Geol., 1, 163 - 191.

Menduiña, J. (1988). Geología y significado económico de las arcillas cerámicas de la Cuenca de Madrid. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, 305 pp.

Soriano, J. (1991). Aspectos técnicos, mineralógicos y químicos de los materiales utilizados en la industria cementera, en "Yacimientos Minerales", Lunar, R. y Oyarzun, R.(ed.). Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. Madrid. 673-691.